

**(11)特許出願公開番号**

- 1 純粋塩基
- 2 a 塩コンタクト面
- 3 量子ドット構造
- 4 p 塩コンタクト面
- A 量子ドット構造を形成するGaAs基底層
- d 量子ドット構造を形成する他の量子ドット
- B 量子ドット構造を形成するGaAs基底層
- 5 p 塩構造
- 6 n 塩構造

## 【特許請求の範囲】

【請求項1】 量子ドット構造を発光に係る部分として有するGaN系半導体発光素子であって、

前記量子ドット構造は、GaN系材料からなる結晶層

(A)と、この層上面に分散して形成されたGaN系材料からなる量子ドットと、この量子ドットを埋め込んで前記層上に成長したGaN系材料からなる結晶層(B)とを有する構造であり、

結晶層(A)および結晶層(B)の材料の各々のバンドギャップは、量子ドットの材料のバンドギャップよりも大きく、

各層の層厚方向についての各々の量子ドットの寸法を高さ $h$ とし、各層の拡がる方向についての各々の量子ドットの寸法を幅 $w$ とし、結晶層(A)の上面における量子ドットの分散の度合いを密度 $\rho$ として、 $0.5\text{ nm} \leq h \leq 50\text{ nm}$ 、 $0.5\text{ nm} \leq w \leq 200\text{ nm}$ 、 $10^6\text{ cm}^{-2} \leq \rho \leq 10^{13}\text{ cm}^{-2}$ 、であることを特徴とするGaN系半導体発光素子。

【請求項2】 結晶層(A)と結晶層(B)とが、互いに異なる伝導型である請求項1記載のGaN系半導体発光素子。

【請求項3】 量子ドットが、不純物をドーピングされたGaN系材料からなるものである請求項1記載のGaN系半導体発光素子。

【請求項4】 量子ドットに用いられるGaN系材料をドット材料とよび、結晶層(A)に用いられるGaN系材料をベース材料とよぶとして、ドット材料とベース材料とが下記(i)の格子整合性を満たす関係にあり、結晶層(A)の層上面の表面状態がアンチサーファクタントによって変化させられたことによって、ドット材料が結晶層(A)の層上面に量子ドットとして成長したものである請求項1記載のGaN系半導体発光素子。

(i) 結晶層(A)上面の表面状態を変化させるような表面処理を施すことなく結晶層(A)上面にドット材料を直接的に結晶成長させたとき、ドット材料が結晶層

(A)の層上面に膜状に結晶成長し得るようなドット材料とベース材料との格子整合性。

【請求項5】 結晶層(A)、量子ドット、結晶層

(B)のうちの1以上のものが、B、As、Pから選ばれる1以上の元素を含有するGaN系材料からなるものである請求項1記載のGaN系半導体発光素子。

## 【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】 本発明は、GaN系材料を用いた半導体発光素子（以下、「GaN系発光素子」ともいう）に関するものであり、詳しくは、発光のメカニズムに係る部分の構造が、GaN系半導体材料による量子ドット構造であるものに関する。

【0002】

【従来の技術】 GaN系発光素子は、近年高輝度の発光

ダイオード(LED)が実現されたのを機会に研究が活発に行われており、半導体レーザの室温連続発振の報告も聞かれる様になっている。

【0003】 GaN系発光素子のなかでも、緑色～青色の短い波長の発光が得られ、しかも高い発光効率を得られるものとして、発光層（活性層）にInGaNの量子井戸層を用いたものがある。InGaNを用いて量子井戸層を形成する場合、その熱力学的な不安定性から、層全体にわたって均一な組成比にはならず、層中で局所的にIn組成比の異なった部分が発生する。この部分は量子ドットに似た性質をもつ。InGaNの量子井戸層を発光層として用いた発光素子では、この量子ドット的な部位が、層の厚み方向のみならず3次元的方向について励起子を閉じ込める作用を示し、この部分でキャリアの再結合発光が起きると言われており、これがInGaN量子井戸層が高い発光効率で発光し得る要因の1つとされている。

【0004】 InGaN量子井戸層中の量子ドット的な部位は、InGaN自体の性質によって層中に存在するものである。他方、GaAs系の材料では、ドット材料と基板材料との格子不整合を利用した量子ドットの形成が知られている。これらに対して、近年、GaN系材料からなる結晶層の表面に特殊な表面処理を施すことによって、該結晶層の表面上にこれと格子整合性の良好なGaN系半導体を量子ドットとして突起状に成長させることが明らかとなった( Appl. Phys. Lett. 69(1996)4096 )。この量子ドット形成のメカニズムは、前記InGaNや、GaAs系における量子ドットの形成とは全く異なるものである。

【0005】

【発明が解決しようとする課題】 上記のように、GaN系材料による量子ドットの形成が可能であることは明らかとなっている。しかし、この量子ドットを用いてGaN系発光素子を構成するためには、未だ、量子ドット個々の大きさ、量子ドット全体の分布の程度などの点で最適な態様が明らかにはされていない。

【0006】 本発明の目的は、上記問題を解決し、GaN系発光素子のための量子ドットの最適な態様を示し、より高効率なGaN系発光素子を提供することにある。

【0007】

【課題を解決するための手段】 本発明のGaN系半導体発光素子は、以下の特徴を有するものである。

(1) 量子ドット構造を発光に係る部分として有するGaN系半導体発光素子であって、前記量子ドット構造は、GaN系材料からなる結晶層(A)と、この層上面に分散して形成されたGaN系材料からなる量子ドットと、この量子ドットを埋め込んで前記層上に成長したGaN系材料からなる結晶層(B)とを有する構造であり、結晶層(A)および結晶層(B)の材料の各々のバンドギャップは、量子ドットの材料のバンドギャップよ

りも大きく、各層の層厚方向についての各々の量子ドットの寸法を高さ $h$ とし、各層の広がる方向についての各々の量子ドットの寸法を幅 $w$ とし、結晶層(A)の上面における量子ドットの分散の度合いを密度 $\rho$ として、 $0.5\text{ nm} \leq h \leq 50\text{ nm}$ 、 $0.5\text{ nm} \leq w \leq 200\text{ nm}$ 、 $10^6\text{ cm}^{-2} \leq \rho \leq 10^{13}\text{ cm}^{-2}$ 、であることを特徴とするGa<sub>0.5</sub>N系半導体発光素子。

【0008】(2) 結晶層(A)と結晶層(B)とが、互いに異なる伝導型である上記(1)記載のGa<sub>0.5</sub>N系半導体発光素子。

【0009】(3) 量子ドットが、不純物をドーピングされたGa<sub>0.5</sub>N系材料からなるものである上記(1)記載のGa<sub>0.5</sub>N系半導体発光素子。

【0010】(4) 量子ドットに用いられるGa<sub>0.5</sub>N系材料をドット材料とよび、結晶層(A)に用いられるGa<sub>0.5</sub>N系材料をベース材料とよぶとして、ドット材料とベース材料とが下記(i)の格子整合性を満たす関係にあり、結晶層(A)の層上面の表面状態がアンチサーファクタントによって変化させられたことによって、ドット材料が結晶層(A)の層上面に量子ドットとして成長したものである上記(1)記載のGa<sub>0.5</sub>N系半導体発光素子。

(i) 結晶層(A)上面の表面状態を変化させるような表面処理を施すことなく結晶層(A)上面にドット材料を直接的に結晶成長させたとき、ドット材料が結晶層(A)の層上面に膜状に結晶成長し得るようなドット材料とベース材料との格子整合性。

【0011】(5) 結晶層(A)、量子ドット、結晶層(B)のうちの1以上のものが、B、As、Pから選ばれる1以上の元素を含有するGa<sub>0.5</sub>N系材料からなるものである上記(1)記載のGa<sub>0.5</sub>N系半導体発光素子。

【0012】

【作用】本発明のGa<sub>0.5</sub>N系発光素子に用いられる量子ドットは、Ga<sub>0.5</sub>N系材料からなる結晶層(上記(1)における「結晶層(A)」)上に、Ga<sub>0.5</sub>N系材料を量子ドットとして成長させたものである。ただし、上記(4)のとおり、量子ドットに用いられるGa<sub>0.5</sub>N系材料をドット材料とよび、結晶層(A)に用いられるGa<sub>0.5</sub>N系材料をベース材料とよぶとき、ドット材料とベース材料とは、上記(i)の関係にある。即ち、結晶層(A)の表面状態を何ら変化させることなく従来通りの結晶成長法・成長条件にて、ドット材料を結晶層(A)上に成長させた場合には、従来知られているとおり、ドット材料は膜状に結晶層(A)上を全面覆い結晶層として成長するGa<sub>0.5</sub>N系材料である。即ち、ドット材料とベース材料とは、少なくともその程度に格子整合しているということである。

【0013】ドット材料とベース材料とが、共にGa<sub>0.5</sub>N系材料であってしかも上記のような格子整合の関係にある状態において、結晶層(A)上に、ドット材料である

Ga<sub>0.5</sub>N系材料を、膜状としてではなく量子ドットとして成長させるためには、結晶層(A)の層上面にアンチサーファクタント(結晶層(A)の層上面の表面状態を変化させる物質)を作用させる。結晶層(A)の層上面の表面状態の変化については、詳しくは解明されていないが、表面自由エネルギーが小さくなる変化であると考えられる。表面状態をこのように変化させることによって、ドット材料であるGa<sub>0.5</sub>N系材料は、ベース材料であるGa<sub>0.5</sub>N系材料からなる結晶層(A)上に、量子ドットとして成長する。

【0014】本発明は、上記のようにGa<sub>0.5</sub>N系材料からなる結晶層上にGa<sub>0.5</sub>N系材料からなる量子ドットを成長させ、さらにGa<sub>0.5</sub>N系材料からなる結晶層で量子ドットを埋め込み、これを発光現象に係る量子ドット構造として発光素子に用いたものである。ここでいう発光現象は、電子またはホール注入によって量子ドット中において、励起子(エトキシ)あるいは電子とホールとが再結合し発光する現象である。

【0015】この量子ドット構造において、高効率にて発光させるためには、個々のドットの大きさ、および量子ドット全体の分布の程度を最適な範囲とすることが必要となる。個々の量子ドットの大きさは、量子ドット構造において発光効率に影響を与える重要な要素であり、量子閉じ込め効果が十分に得られるサイズであることが重要である。結晶層(A)上面における量子ドット全体の分散の度合い(密度)は、面内における発光源の密度であるため、これもまた発光効率に影響を与える重要な要素である。

【0016】

【発明の実施の形態】図1は、本発明のGa<sub>0.5</sub>N系発光素子の一例を示す断面図であって、説明のために簡単な構造のLEDを例として示している。同図のLEDは、結晶基板1上に、Ga<sub>0.5</sub>N系材料からなる結晶層を順次成長させて積み重ね、量子ドット構造3を含む積層層Sを形成し、これにp型側の電極5とn型側の電極6を設けて構成したものである。層2はn型コンタクト層、層4はp型コンタクト層であり、いずれもGa<sub>0.5</sub>N系材料からなる。

【0017】図1の例における伝導型(p型、n型)の上下位置関係は、伝導型を形成するための加工上の理由から、結晶基板側をn型とし上層側をp型とする一般的なものとなっている。また、同図の例では、結晶基板に絶縁体(サファイア結晶基板)を用いており、層2の上面を露出させ、その面に電極6を設けるという電極の配置となっている。以下、本発明の発光素子の他の態様を説明する場合にも、p/n型の上下関係、電極配置については、これと同様の例を挙げて説明する。しかし、p/n型の上下が逆の態様や、結晶基板が導電性を有する場合の電極配置なども自由に選択してよい。

【0018】量子ドット構造3は、結晶層Aと、多数の

量子ドットdと、結晶層Bとを有する構造であり、これらは全てGa<sub>x</sub>N系材料からなるものである。量子ドットdは、結晶層Aの上面に分散した状態として形成されている。結晶層Bは、結晶層Aの上面のうち量子ドットdが形成されなかった部分を結晶成長の出発面として、量子ドットを埋め込むまで成長した結晶層である。

【0019】結晶層Aと結晶層Bの導電型は、同じであっても、互いに異なるものであってもよく、発光素子における発光部分としてどのように用いるかによって選択すればよい。図1の例では、量子ドット構造3は、第1伝導型（図ではn型）の結晶層Aと、多数の量子ドットdと、第2伝導型（図ではp型）の結晶層Bとからなり、結晶層Aと結晶層Bがクラッド層としての役割を果たし、量子ドットdがその中で発光部としての役割を果たす。また、結晶層Aと結晶層Bの導電型を同じとして、これらをさらにバンドギャップの大きいp型、n型のクラッド層で挟んだ構造としてもよい。

【0020】結晶層Aおよび結晶層Bの材料の各々のバンドギャップの大きさは、ともに量子ドットの材料のバンドギャップの大きさ以上とする。これは、発光部である量子ドットに電子およびホールを効率よく注入するためである。

【0021】本発明のGa<sub>x</sub>N系発光素子に用いられるGa<sub>x</sub>N系材料とは、式In<sub>x</sub>Ga<sub>y</sub>Al<sub>z</sub>N（0≤X≤1, 0≤Y≤1, 0≤Z≤1, X+Y+Z=1）で決定される化合物半導体である。なかでもGa<sub>x</sub>N、InGa<sub>x</sub>N、AlGa<sub>x</sub>Nなどが有用なものととして挙げられる。上記バンドギャップの条件を満たす材料の組合せ例としては、結晶層Aおよび結晶層BをAlGa<sub>x</sub>Nとし、量子ドットをGa<sub>x</sub>Nとする組合せなど、結晶層Aおよび結晶層BをAl<sub>x</sub>Ga<sub>(1-x)</sub>Nとし、量子ドットをAl<sub>y</sub>Ga<sub>(1-y)</sub>Nとする組合せ（ただし0<X, 0≤Y, Y<Xである）などが挙げられる。

【0022】量子ドットを構成するGa<sub>x</sub>N系材料には、例えば発光強度を増大させることなどを目的として、Siなどの不純物をドーピングしてもよい。

【0023】また、結晶層A、量子ドット、結晶層Bのうちの1以上のものには、それらに用いられるGa<sub>x</sub>N系材料に、さらに、B、As、Pから選ばれる1以上の元素を含有させてもよい。

【0024】上記作用の説明で述べたように、発光を高效率とするためには、量子ドットの大きさ、および量子ドット全体の分布の程度を最適な範囲とすべきであり、本発明はその範囲を与えるものである。個々の量子ドットの形状は、材料や成長条件によって異なるが、多面体状、柱状、半球状となる。

【0025】個々の量子ドットの大きさは、各層の層厚方向についての量子ドットの寸法（結晶層Aの表面から量子ドットのトップまでの距離）を高さhとし、各層の拡がる方向についての量子ドットの最大寸法を幅wとし

て好ましい範囲を限定する。量子ドットの高さh、幅wは、発光に寄与する励起子の閉じ込めの意味からは小さい方が好ましいが、実際の量子ドット作製における寸法の制御性などを考慮すると、これらは共に0.5nm以上であることが好ましい。また、これらの最大寸法については、量子効果の観点から、高さhは50nm以下、幅wは200nm以下が好ましい。従って、0.5nm≤h≤50nm、0.5nm≤w≤200nm、が好ましい範囲となる。

【0026】結晶層Aの上面における量子ドットの分散の度合いについては、分散の度合いを、密度（単位面積当たりの量子ドットの数）ρとして表し範囲を限定する。密度ρは、量子ドット1つ1つからの発光は弱いので、発光効率を考慮すると10<sup>6</sup>cm<sup>-2</sup>以上とすることが好ましく、また、量子ドットの大きさにもよるが、量子ドット同士が互いに接触しないように10<sup>13</sup>cm<sup>-2</sup>以下とすることが好ましい。従って、10<sup>6</sup>cm<sup>-2</sup>≤ρ≤10<sup>13</sup>cm<sup>-2</sup>が好ましい範囲となる。

【0027】結晶層Aの上面に量子ドットを形成するには、上記作用の説明で述べたように、結晶層Aの上面にその表面状態を変化させる物質（アンチサーファクタント）を作用させてから量子ドットに用いられるGa<sub>x</sub>N系材料を結晶成長させる。結晶層Aの上面にアンチサーファクタントを作用させるには、結晶層Aの上面とアンチサーファクタントとを接触させればよい。接触の方法は限定されないが、例えば、MOCVD法によって、AlGa<sub>x</sub>N結晶層上にGa<sub>x</sub>Nの量子ドットを形成する場合であれば、MOCVD装置内でAlGa<sub>x</sub>N結晶層が成長した後、MOCVD装置内にガス状のアンチサーファクタントを供給すればよい。

【0028】アンチサーファクタントをガス状として供給するには、例えば、テトラエチルシランをアンチサーファクタントとするのであれば、その溶液にH<sub>2</sub>ガスをバブリングさせることにより、H<sub>2</sub>ガスをキャリアガスとして供給する方法が挙げられる。

【0029】アンチサーファクタントとして用いられる物質は、結晶層Aの材料と量子ドットの材料との組合せによって適当なものが選択でき、限定されない。例えば上記のように、AlGa<sub>x</sub>N結晶層上にGa<sub>x</sub>Nを量子ドットとして形成させる場合のアンチサーファクタントとしては、テトラエチルシランが挙げられる。その他、SiH<sub>4</sub>、Si<sub>2</sub>H<sub>6</sub>、またはこれらの混合ガス、Cp<sub>2</sub>Mg（ビスシクロペンタジエニルマグネシウム）等が挙げられる。

【0030】個々の量子ドットの大きさ、形状、量子ドットの分散の度合いは、アンチサーファクタントの供給量、量子ドットの成長温度、結晶層Aの材料の組成をパラメータとして変化させることによって制御することができる。量子ドットを成長させるときの結晶成長方法は、MOCVD、MBEなどが挙げられる。

【0031】結晶基板は、Ga<sub>2</sub>N系結晶が成長可能なものであればよく、例えば、従来からGa<sub>2</sub>N系結晶を成長させる際に汎用されている、サファイア、水晶、SiC等が挙げられる。なかでも、サファイアのC面、A面、6H-SiC基板、特にC面サファイア基板が好ましい。またこれら材料の表面に、Ga<sub>2</sub>N系結晶との格子定数や熱膨張係数の違いを緩和するためのZnO、MgOやAlN等のバッファ層を設けたものであっても良く、さらにはGa<sub>2</sub>N系結晶の薄膜を表面に有するもので

【0032】

【実施例】本実施例では、図1に示す構造のLEDを実際に製作した。該LED中における量子ドット構造3は、n型AlGa<sub>2</sub>N層Aと、この層上面に分散して形成されたGa<sub>2</sub>N量子ドットdと、この量子ドットdを埋め込んで前記層A上に成長したp型AlGa<sub>2</sub>N層Bとからなるものである。

【0033】【結晶基板1の形成】最も基礎の結晶基板1aとしてはサファイアC面基板を用いた。まずこのサファイア基板1aをMOCVD装置内に配置し、水素雰囲気下で1200℃まで昇温し、サーマルエッチングを行った。その後温度を500℃まで下げAl原料としてトリメチルアルミニウム（以下TMA）、N原料としてアンモニアを流し、AlN低温バッファ層1bを30nm成長させ、結晶基板1を得た。

【0034】【n型コンタクト層2の形成】成長温度を1000℃に昇温し、Ga原料としてトリメチルガリウム（TMG）、N原料としてアンモニア、ドーパント原料としてシランを流し、n型Ga<sub>2</sub>Nコンタクト層2を3μm成長させた。

【0035】【量子ドット構造3の形成】

①層Aの形成；成長温度を1100℃とし、TMA、TMG、アンモニア、ドーパント原料としてシランを供給し、n型AlGa<sub>2</sub>N層Aを0.5μm成長させた。

②層A上面の表面処理；成長温度を1000℃とし、H<sub>2</sub>ガスをキャリアとしてテトラエチルシランを供給し、層A上面に10秒間接触させた。

③量子ドットdの形成；TMG、アンモニアを供給し、Ga<sub>2</sub>N量子ドットdを形成した。量子ドットの高さhの平均は6nm、幅wの平均は40nmであった。また、結晶層Aの上面における量子ドットの分散の度合い（密度、即ち単位面積当たりの量子ドットの数）ρは、約3×10<sup>9</sup>cm<sup>-2</sup>であった。

④層Bの形成；成長温度を1100℃とし、TMA、TMG、アンモニア、ドーパント原料としてビスシクロペンタジエニルマグネシウム（Cp<sub>2</sub>Mg）を供給し、p型AlGa<sub>2</sub>N層Bを0.5μm成長させ、量子ドット構造3を得た。

【0036】【p型コンタクト層4の形成】成長温度を1000℃とし、TMG、アンモニア、およびドーパント原料としてCp<sub>2</sub>Mgを供給し、p型Ga<sub>2</sub>Nコンタクト層4を1μm成長させた。

【0037】【電極の形成等】試料を装置から取り出し、窒素雰囲気、800℃で20分間アニール処理を行った。最後に、p型コンタクト層4の上にp型電極5を形成し、また、ドライエッチングにより積層体の上面からp型層と量子ドット構造の一部をエッチング除去し、n型コンタクト層2の上面を露出させ、n型電極6を形成し、LEDとした。

【0038】このLEDを、To-18ステム台にマウントし、20mAでの光度の測定を行ったところ、100mcdであった。また、発光波長を測定したところ、通常のGa<sub>2</sub>Nの発光波長から約80meV短波長側へずれており、量子サイズ効果によると考えられるブルーシフトが観察された。

【0039】比較例1

実施例1における量子ドットの密度ρを3×10<sup>5</sup>cm<sup>-2</sup>としたこと以外は、実施例1と同様にLEDを作製した。このLEDについて、実施例1と同様に20mAでの光度および発光波長の測定を行ったところ、発光波長のブルーシフトは観察されたが、光度は10mcdであった。

【0040】比較例2

実施例1における量子ドットの密度ρを3×10<sup>14</sup>cm<sup>-2</sup>としたこと以外は、実施例1と同様にLEDを作製した。このLEDについて、実施例1と同様に20mAでの光度および発光波長の測定を行ったところ、光度は10mcdであり、発光波長はブルーシフトが無く、通常のGa<sub>2</sub>Nの発光波長と同じであった。また、本比較例と同じ条件にて層A上に量子ドットを形成し、該量子ドットの形成が完了した時点で層A上面をAFMで観察したところ、隣合った量子ドット同士が接触し1つに合体していることが確認された。

【0041】比較例3

実施例1における量子ドットの高さhの平均を60nmとし、幅wの平均を500nmとしたこと以外は、実施例1と同様にLEDを作製した。このLEDについて、実施例1と同様に20mAでの光度および発光波長の測定を行ったところ、光度は25mcdであり、発光波長はブルーシフトが無く、通常のGa<sub>2</sub>Nの発光波長と同じであった。また、本比較例と同じ条件にて層A上に量子ドットを形成し、該量子ドットの形成が完了した時点で層A上面をAFMで観察したところ、隣合った量子ドット同士が接触し1つに合体していることが確認された。

【0042】比較例4

比較例3における量子ドットの密度を1×10<sup>5</sup>cm<sup>-2</sup>としたこと以外は、比較例3と同様にLEDを作製し、本発明による限定範囲よりも大きい量子ドット形状と、

本発明による限定範囲よりも小さい密度とを組合せた場合の特性を調べた。このLEDについて、20mAでの光度、発光波長を測定し、また、同一条件でのサンプルに対して量子ドットの形成が完了した時点での層A上面をAFMで観察したところ、隣合った量子ドット同士は、互いに接触することなく、独立していたが、光度は10mcdであり、発光波長はブルーシフトが無く、通常のGa<sub>0.4</sub>N<sub>0.6</sub>の発光波長と同じであった。

【0043】

【発明の効果】本発明のGa<sub>0.4</sub>N<sub>0.6</sub>系発光素子は、Ga<sub>0.4</sub>N<sub>0.6</sub>系材料からなる量子ドット構造を発光に係る部分として有するものであり、しかも、量子ドット構造の最適な態様として、個々の量子ドットの高さ、幅、量子ドットの分散の度合いの適正な範囲を限定しているの、より高効率なGa<sub>0.4</sub>N<sub>0.6</sub>系発光素子が得られるようになった。

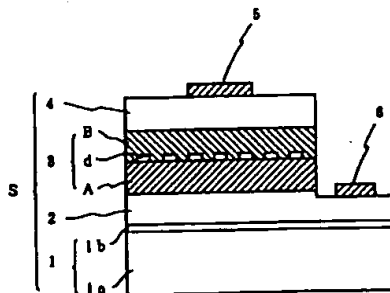
【図面の簡単な説明】

【図1】本発明のGa<sub>0.4</sub>N<sub>0.6</sub>系発光素子の一例を示す断面図である。同図では、説明のために、各層の厚み、量子ドット・電極の寸法などを誇張して示しており、実際の比率とは異なる。また、他の層と区別するために、電極層A、Bにハッチングを施している。

【符号の説明】

- 1 結晶基板
- 2 n型コンタクト層
- 3 量子ドット構造
- 4 p型コンタクト層
- A 量子ドット構造を構成するGa<sub>0.4</sub>N<sub>0.6</sub>系結晶層
- d 量子ドット構造を構成する個々の量子ドット
- B 量子ドット構造を構成するGa<sub>0.4</sub>N<sub>0.6</sub>系結晶層
- 5 p型電極
- 6 n型電極

【図1】



- 1 結晶基板
- 2 n型コンタクト層
- 3 量子ドット構造
- 4 p型コンタクト層
- A 量子ドット構造を構成するGa<sub>0.4</sub>N<sub>0.6</sub>系結晶層
- d 量子ドット構造を構成する個々の量子ドット
- B 量子ドット構造を構成するGa<sub>0.4</sub>N<sub>0.6</sub>系結晶層
- 5 p型電極
- 6 n型電極

フロントページの続き

(72)発明者 田中 悟

北海道札幌市中央区宮の森一条13丁目2-  
3 ソレアード宮の森3-2

(72)発明者 青柳 克信

埼玉県和光市広沢2番1号 理化学研究所  
内

(72)発明者 大内 洋一郎  
兵庫県伊丹市池尻4丁目3番地 三菱電線  
工業株式会社伊丹製作所内

(72)発明者 岡川 広明  
兵庫県伊丹市池尻4丁目3番地 三菱電線  
工業株式会社伊丹製作所内  
(72)発明者 只友 一行  
兵庫県伊丹市池尻4丁目3番地 三菱電線  
工業株式会社伊丹製作所内